

ホブ切りにおけるミスト給油の効果*

中江 道彦**, 森川 浩次**

Effects of Oil Mist on Gear Hobbing

Masahiko NAKAE, Hiroshi MORIKAWA

1. 緒 言

環境問題や加工コストの低減などの理由から、切削油剤の使用を削減する要望が強い。歯車加工においても、優れたコーティングホブの開発とともに切削油剤を使用しないドライホブ切りが普及しつつある。しかし、ドライホブ切りでは、切りくずのかみ込みが原因と考えられる歯面きずやホブ切れ刃の異常摩耗の発生が報告されている^{1,2)}。

本研究は、微量の油剤を圧縮空気とともにミスト状にして噴射しながらホブ切り（以下ミスト切削と表記）することによって、ドライホブ切りにおける上記のような問題を改善することを目的とするものである。本報では各種条件の下でミスト切削を行い、歯面きずの発生状況およびホブ切れ刃損傷状況に及ぼす効果を調べたので、その結果について報告する。

2. 実験方法および条件

(Al,Ti)N コーティング高速度鋼ホブを用いて、焼きなました軟らかい歯車材 SCr420 を、切削速度 50～200m/min、送り 2mm/rev、切り込み 6mm でクライムホブ切りした。コンプレッサーから圧縮空気をミスト供給装置に導いて圧力 0.62～0.75MPa に調整し、油剤を 20g/hr の割合で圧縮空気とともに一部実験を除いて逃げ面側から 3 つのノズルを用いて噴射し、ミスト給油を行った。ミスト油剤には主としてエステル系合成油(動粘度 20.2mm²/s)を用いた。表 1 は被加工歯車ならびにホブの諸元を示す。

切削直後の切りくずを水を入れた断熱ビーカーに取り、水温の上昇から切りくず温度を推定し、同時に歯面とホブすくい面の温度を熱電対式接触温度計を用いて測定した。切削した歯車は歯面きずの発生状況を詳細に観察するとともに、歯形、歯すじ形状

および歯面粗さを測定した。

ミスト給油がホブの耐久性へ及ぼす影響を調べるために、切削速度 200m/min および 150m/min の下でそれぞれ 30 個の歯車をドライ切削およびミスト切削を行い、－8～17 番のホブ切れ刃について逃げ面摩耗幅およびクレータ摩耗深さの増加状況を調べた。この場合、図 1 (a)～(c)に示すように 3 つのノズルの取付け位置を変えてミスト噴射方向を変化させて切削を行った。図(a)は逃げ面側から噴射、図(b)はすくい面側から噴射、図(c)は逃げ面とすくい面側両方から噴射する場合を示す。なお、いずれもミスト総油量は同一にした。

また、切りくず形状への影響を調べるために、舞いツール切削実験を行った。本ホブ切りにおいて切削負担の大きい切れ刃は、最大厚さ 0.28mm、長さ 9mm の領域を切削する。舞いツール切削条件はこれと等価の切削を行うため、切り込み 1.8mm、送り 0.82mm/rev とし、前加工によって入れた深さ 1.0mm の溝をさらに 1.8mm 深めるクライム切削を行った。切削速度を 50～200m/min に変化させ、ド

表 1 歯車とホブの諸元

歯車		ホブ	
モジュール	2	モジュール	2
歯数	33, 39	条数	3
外径 mm	81.95	外径 mm	80
ねじれ角	30° 58' 13" (右)	すすみ角	4° 7' 57" (右)
圧力角	14.5°	圧力角	14.5°
歯幅 mm	50	長さ mm	150
歯たけ mm	6.032	切れ刃溝数	12
材質	SCr420	母材	SKH55相当
硬さ	140HB	コーティング	(Al,Ti)N
		刃形	プロデュバランス刃形



(a) 逃げ面噴射 (b) すくい面噴射 (c) 逃げ面・すくい面噴射

図 1 各種のミスト噴射

* 原稿受付 平成 20 年 9 月 18 日

** 佐世保工業高等専門学校 機械工学科

ライ切削とミスト切削を行った。採取した切りくずの曲率半径および断面組織を調べ、各条件について比較を行った。この場合も、ミスト噴射方向を変化させた。

3. 実験結果および考察

3. 1 歯元に発生する歯面きず

図2(a)は歯元部のほぼ歯幅全体にわたって発生した幅1.3mmほどの帯状のきずを示す。このきずはドライ切削のトレーリング側に、実験したすべての条件で発生した。拡大図(b)を見ると、きず表面はむしれ状に粗くなっているのがわかる。また幅の中央部で切断して研磨した後、腐食を施した図(c)の写真から歯面表層部に切削方向に沿った塑性流れが観察され、所々に切りくずの溶着が見られる。このような深くて大きなきずの発生は、この後の工程であるシェービング仕上げにおいて加工しろを大きくす

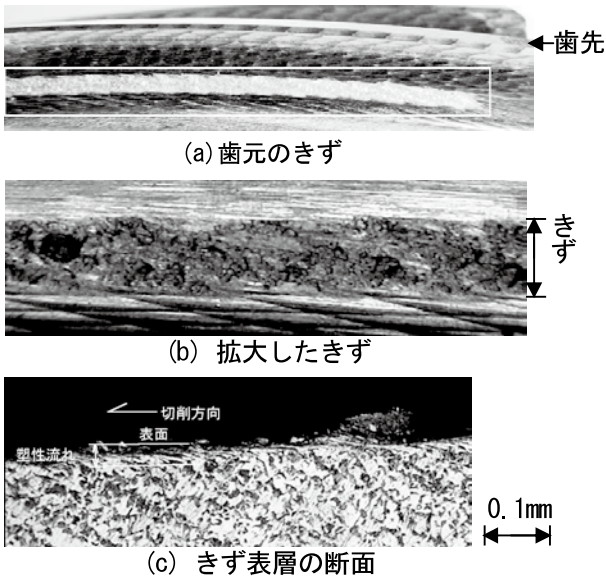


図2 歯元に発生する歯面きず

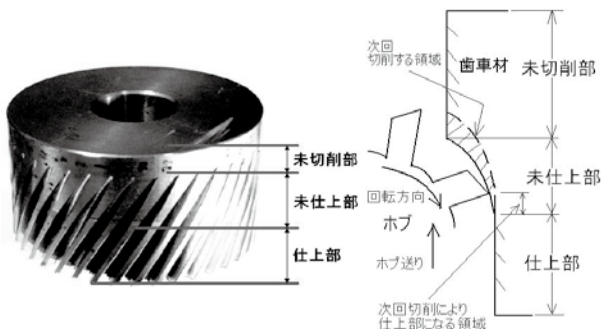


図3 ホブ切り急停止により得られた歯車

る必要が生じたり、工具寿命に影響したりするなど問題が多い。

1個の歯車をホブ切りしている途中でホブ盤の非常戻しによって加工を停止し、図3に示すような食いつき部歯面（未仕上げ部）をもつ切削途中の歯車を得た。この未仕上げ部を観察したところトレーリング側に歯面きずは全く生じていないことがわかった。したがって、上記のトレーリング側歯面きずは、前回の切削において切れ刃に付着した切りくずがかみ込み込まれて切削開始とともに発生するものではなく、切削中の切りくずによるものと考えられる。すなわち、先に削り出されるリーディング側の厚い切りくずによって後から削り出される薄いトレーリング側の切りくずの流出が阻害され、その切りくずが切れ刃と歯面の間にかみ込まれてトレーリング側歯面に強く押しつけられながら切削が進行することによって発生するものである。

図4(a)は、空気だけを吹き付け（エア供給）ながら切削した時の歯面を示す。歯元部のきずはドライ切削の場合と同様にむしれ状のものであるが連続したものではなく、小さく切れ切れに発生している。ミスト切削では歯元部のきずはほとんど発生しなくなり、発生しても図(b)のように非常に浅く細いものである。

3. 2 温度の比較

図5はホブ切り後の歯車歯面とホブすくい面の上昇温度を示す。歯面温度は切削速度の上昇とともに低下する傾向が見られる。また高速ほどエアおよびミスト供給効果が高いことがわかる。ホブすくい面温度はミスト切削では切削速度にはほとんど影響されずほぼ一定であるが、乾式およびエア供給では低速切削側でやや高くなる傾向が見られる。

図6は切りくず温度を示したものである。切削速

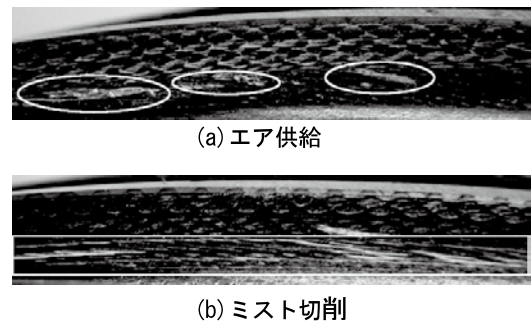


図4 軽減された歯元のきず

ホブ切りにおけるミスト給油の効果

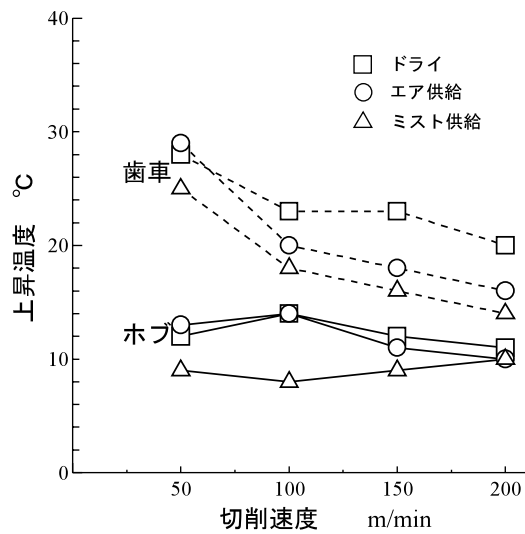


図5 歯面およびホブすくい面上昇温度

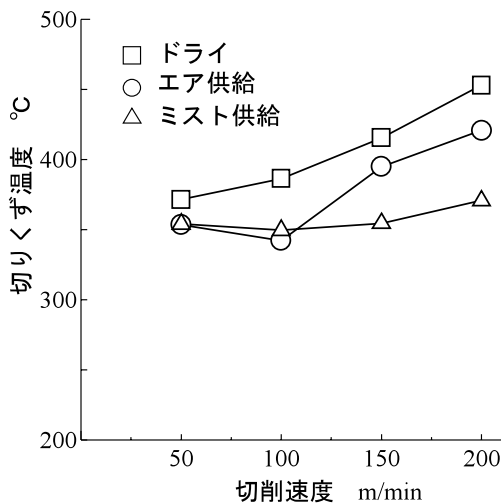


図6 切りくずの温度

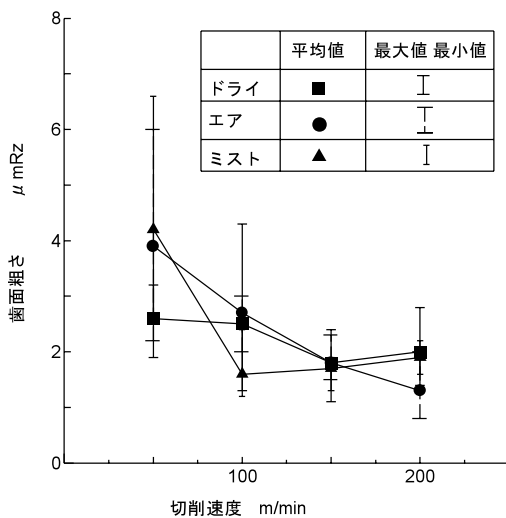


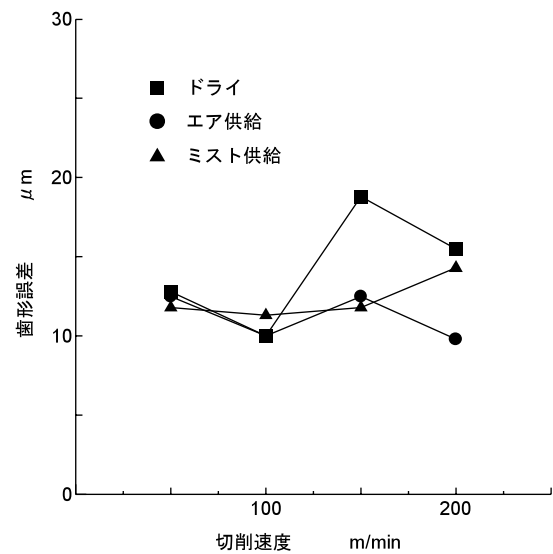
図7 切削速度と歯面粗さの関係

度が増加すると、切りくず温度も上昇する傾向があるが、ミスト切削では温度上昇割合が非常に小さい。

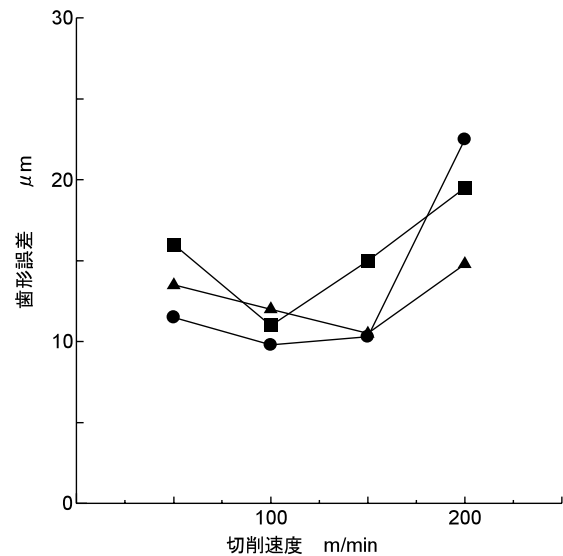
以上のことから、ミスト給油は特に高速切削において高い冷却効果を発揮することがわかる。

3.3 歯面粗さ、歯形精度の比較

図7は切削速度とトレーリング側歯面粗さ（歯形方向）の関係を示したものである。切削速度が100m/min以下ではドライ切削のほうが、エアおよびミスト供給の場合より粗さは小さくなっているが、高速側ではわずかなではあるが、逆転する傾向が見られる。しかしいずれの場合も粗さは2μmRz程度で、



(a) リーディング側



(b) トレーリング側

図8 歯形誤差と切削速度の関係

滑らかに仕上がっている。

図 8 (a)(b)はそれぞれリーディング側およびトレーリング側の歯形誤差と切削速度の関係を示す。低速側ではいずれも同程度であるが、高速になるとドライ切削では誤差が大きくなる傾向が見られる。エア供給の場合は高速切削でトレーリング側の誤差が

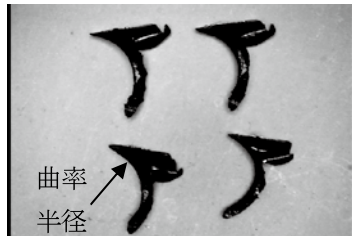


図 9 舞いツール切削による切りくず

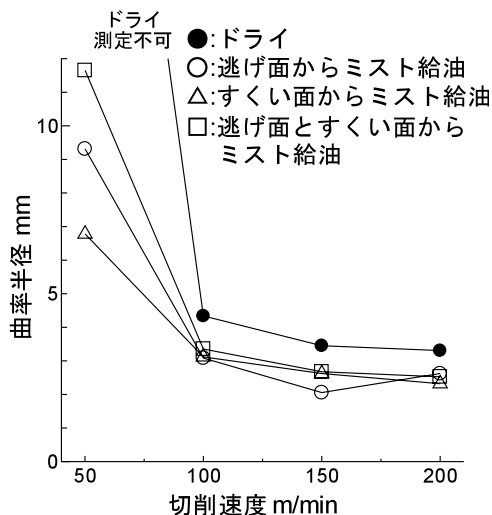


図 10 曲率半径の比較

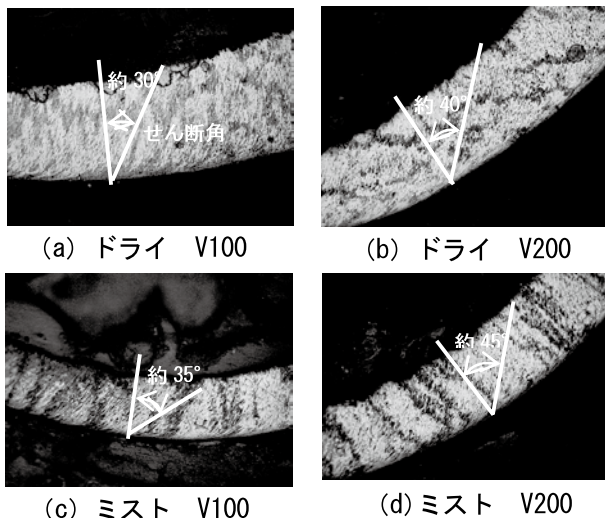


図 11 切りくずの断面組織

大きくなっているが、ミスト切削では安定した効果が見られる。

3. 4 ミスト切削による切りくずの変化

ドライ切削および噴射方向を変えたミスト給油の下で舞いツール切削実験を行って図 9 のような切りくずを採取し、その曲率半径を求めるとともに断面組織を観察した。

図 10 はドライ切削および各種噴射方向のミスト切削における切りくずの曲率半径を比較して示したものである。図より、いずれの切削速度においてもミスト切削の場合がドライ切削のものより曲率半径は小さいことがわかる。

図 11 は切削速度 100m/min および 200m/min におけるドライ切削とミスト切削の切りくず中央部の断面組織を比較したもので、それぞれ組織流れ方向から求めたせん断角を図中に示している。図より、いずれの切削速度の場合もドライ切削に比べてミスト切削ではせん断角が大きく、切りくず厚さが小さいことがわかる。これはミスト油剤による冷却作用および潤滑作用によるものと考えられる。

以上の結果から、ミスト切削を行うと切りくずの曲率半径が減少してすくい面から早く立ち上がるとともに、切りくず厚さも減少することがわかる。よって、ミスト切削ではリーディング側とトレーリング側から削り出される切りくず同士の干渉が緩和され、切りくずのかみ込みによる歯面きずが起これにくくなるものと推定される。

3. 5 ホブの耐久性への影響

図 12 (a) (b) は歯数 39, 歯幅 50mm の歯車 20 個を切削速度 200m/min で (Al, Ti)N コーティングホブを用いてそれぞれドライ切削およびミスト切削 (逃げ面側から噴射) した後のホブ各切れ刃の逃げ面摩耗幅を比較して示したものである。図 (a) のドライ切削の場合、7～13 番刃の歯元きずが発生するトレーリング側に図 13 に示すような非常に大きな摩耗が急に発生し、最大摩耗幅は 4mm に達した。しかし、ミスト切削ではそのような異常摩耗の発生はなく、最大摩耗幅は 0.2mm 程度である。

図 14 は切削速度 200m/min, 歯数 33 の歯車 30 個をドライ切削したときのホブ逃げ面摩耗幅である。最大 0.16mm の摩耗が生じているが、前図のような異常摩耗は発生していない。しかし、歯面には歯元部

ホブ切りにおけるミスト給油の効果

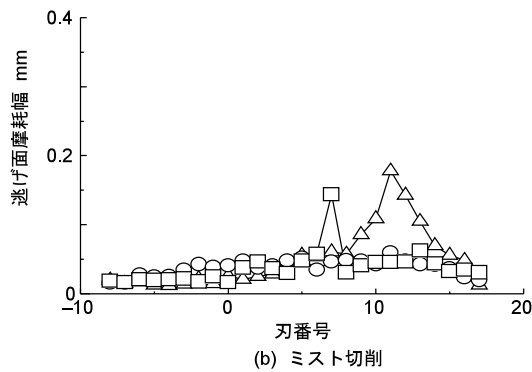
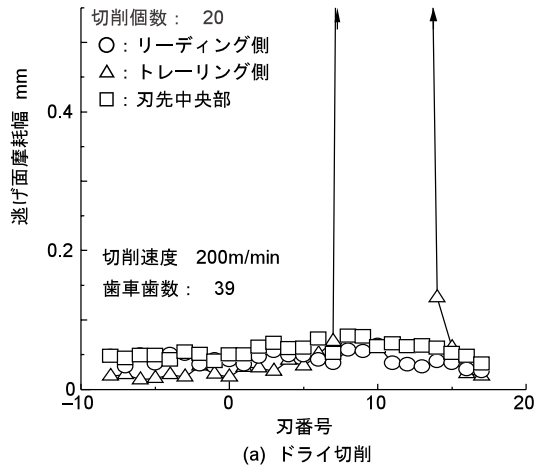


図 12 ホブ摩耗の比較

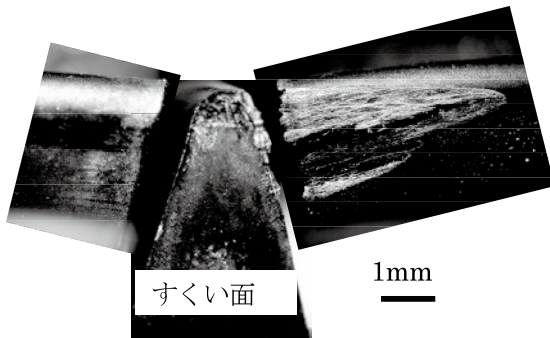


図 13 ホブの異常摩耗

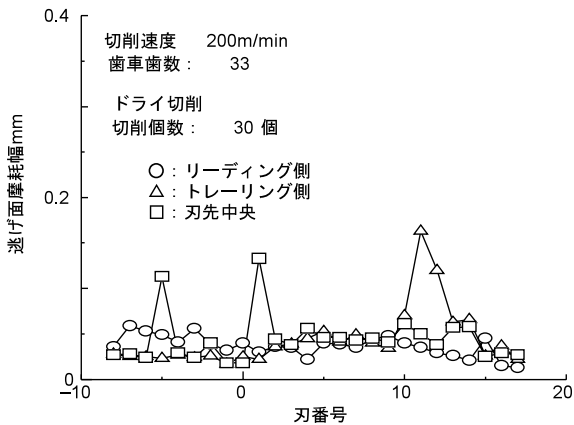


図 14 ドライ切削におけるホブ摩耗

のきずが発生しており、歯元部の歯面きずが発生する場合に必ずしも異常摩耗が発生するものではないことを示している。よって、異常摩耗の発生原因を明らかにするにはさらに詳細な検討が必要である。

図 15(a)～(c)は図 14 の場合と同じ切削条件でそれぞれ逃げ面側から、すくい面側からおよび逃げ面とすくい面側の両方からミスト給油を行いながら歯

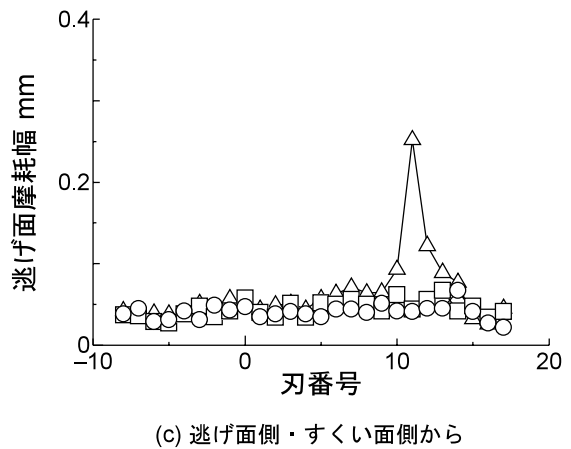
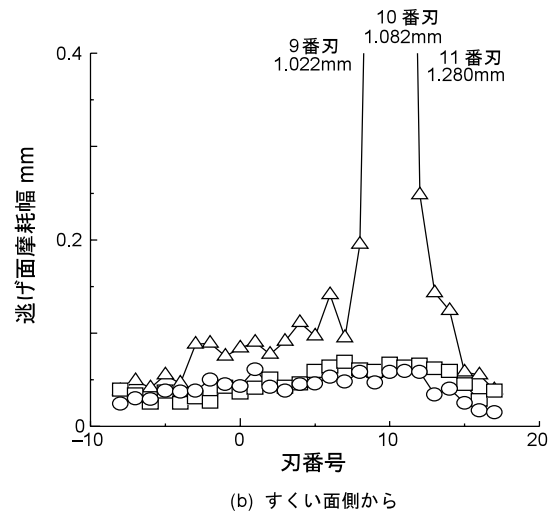
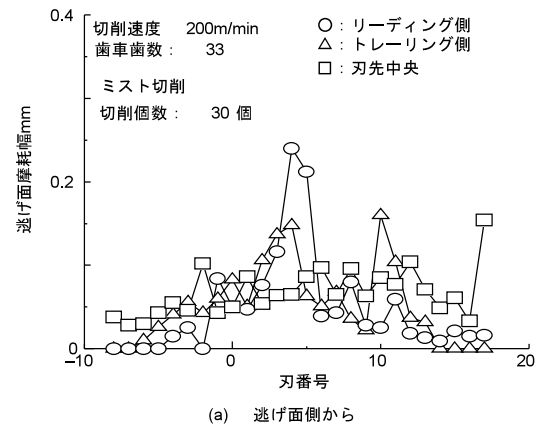


図 15 ミスト切削におけるホブ摩耗

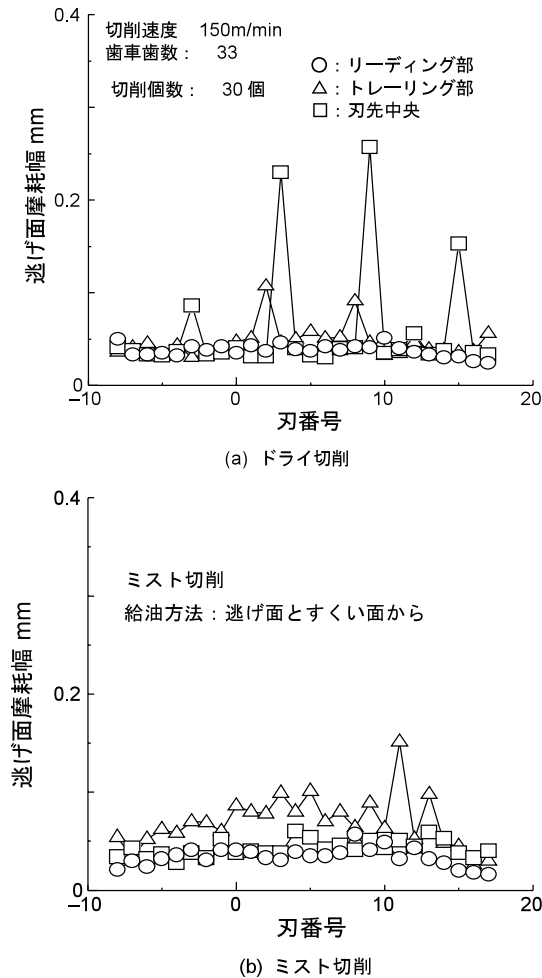


図 16 ホブ摩耗の比較 (150m/min)

車 30 個を切削した後の逃げ面摩耗幅である。図 (a) の逃げ面側からミスト給油を行った場合は全体的にドライの場合より摩耗は増加している。また図 (b) のすくい面からミスト給油を行った場合は、9～11 番刃とレーリング側に 1mm 以上の大きな摩耗が生じている。しかし、図 (c) の逃げ面とすくい面側の両方からミスト給油を行った場合は、11 番刃に 0.2mm を超す摩耗が発生しているが、その他の切れ刃はドライ切削と同程度にまで小さく抑えられている。

図 16 (a) (b) は、歯数 33 の歯車を切削速度 150m/min でそれぞれドライ切削および逃げ面とすくい面の両方からミスト給油を行った場合のホブ切れ刃の逃げ面摩耗幅である。ドライ切削では数刃に 0.2mm を超す摩耗が発生しているが、逃げ面とすくい面両側からミスト給油を行った場合は大きな摩耗は発生していない。

クレータ摩耗も測定したが、ミスト給油の有無に

よる差はほとんどなく、いずれの場合も歯車 30 個切削後の最大クレータ深さは 60～70 μm であった。

4. 結 言

(Al,Ti)N コーティング高速度鋼ホブを用いた軟らかい歯車材のクライムホブ切りにおいて、ドライ切削ならびにミスト切削を行った結果、以下のことがわかった。

(1) ドライ切削ではトレーリング側歯面歯元部に後工程に影響するような帯状の大きなきずが発生する。リーディング側およびトレーリング側から削り出される切りくずの干渉によってトレーリング側の切りくずの流出が阻害されて切れ刃と歯面間にかみ込まれ、それが歯面に強く押し付けられて発生するものと考えられる。

(2) ミスト切削では、ミスト油剤の冷却および潤滑作用によって切りくずがすくい面から早く立ち上がり、また厚さが減少するため、切りくず間の干渉が緩和され、歯元部の歯面きずが発生しにくい。エアを供給するだけでもミスト給油ほどではないが、歯面きずの抑制効果がある。

(3) ホブの逃げ面とすくい面の両側からミスト給油を行えば、切れ刃の異常摩耗を発生しにくくし、比較的小さな逃げ面摩耗で切削することが可能である。ホブ切れ刃異常摩耗の発生原因については、切りくずのかみ込みに関係していると考えられるが、歯面きずが発生しても異常摩耗が生じない場合があり、さらに詳細な検討を要する。

謝 辞

実験に用いた歯車材およびホブは三菱マテリアル神戸ツールズ(株)歯切工具部殿より、ミスト油剤はユシロ化学工業(株)殿よりご提供いただいた。また、実験結果の一部は当時本校専攻科学生 川内将嗣、藤井健二の両君によるものである。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 角・久保・小森, 機論 C 編 69 巻 681 号 (2003 - 5) 1396
- 2) 梅崎・有浦・松本・吉村, 機論 C 編 69 巻 678 号 (2003 - 2) 228